LEYBOLD
Fiches d'expériences de physique

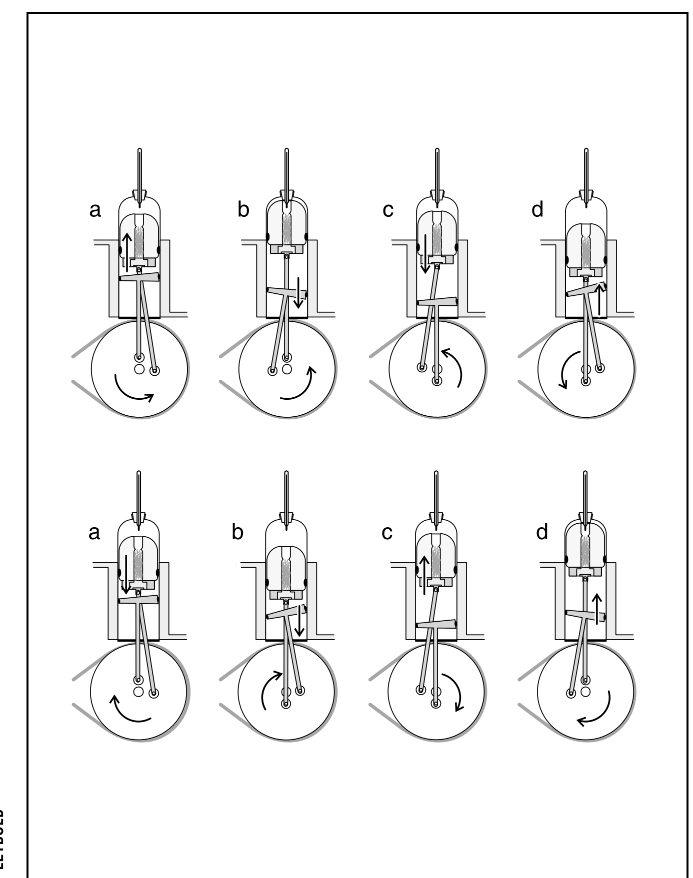
P2.6.1.3

Le moteur à air chaud utilisé comme pompe à chaleur et comme machine frigorifique

Objectifs expérimentaux

- Mise en service du moteur à air chaud pour un fonctionnement en pompe à chaleur par entraînement du volant moteur dans le sens trigonométrique.
- Détermination de la température maximale dans la culasse.
- Mise en service du moteur à air chaud pour un fonctionnement en machine frigorifique par entraînement du volant moteur dans le sens rétrograde.
- Détermination de la température minimale dans la culasse.

Fig. 1 Schéma illustrant le principe de fonctionnement du moteur à air chaud utilisé comme pompe à chaleur (en haut) et comme machine frigorifique (en bas)



Notions de base

Le moteur à air chaud (*R. Stirling*, 1816) fonctionne en pompe à chaleur ou en machine frigorifique lorsque son volant moteur est entraîné mécaniquement de l'extérieur. Son piston déplaceur et son piston moteur sont reliés au vilebrequin via des bielles de manière à fonctionner avec un décalage de 90°. Si on fait tourner le volant moteur dans le sens trigonométrique, le piston déplaceur monte, alors que le piston moteur est au point mort haut, et refoule l'air dans la partie inférieure du cylindre qui est refroidie par l'eau (voir fig. 1 en haut). L'air y est détendu par le piston moteur, absorbant ainsi de la chaleur de l'«eau de refroidissement». Pendant que le piston moteur est au point mort bas, le piston déplaceur descend et refoule l'air dans la partie supérieure du cylindre. Il y est comprimé par le piston moteur et cède de la chaleur à la culasse; le moteur à air chaud fonctionne ici en pompe à chaleur.

Lorsque le volant moteur fonctionne dans le sens rétrograde, le piston déplaceur refoule l'air vers le haut alors que le piston moteur est au point mort haut (voir fig. 1 en bas). De la chaleur est ainsi prélevée de la culasse lors de l'expansion de l'air occasionnée ensuite par le piston moteur. L'air est maintenant refoulé vers le bas par le piston déplaceur; il y est comprimé par le piston moteur et cède donc de la chaleur à l'eau de refroidissement; le moteur fonctionne ici en machine frigorifique.

Dans l'expérience, on étudie qualitativement l'utilisation du moteur à air chaud comme pompe à chaleur et comme machine frigorifique. Pour démontrer la relation entre puissance mécanique apportée et puissance calorifique ou puissance frigorifique, on fait varier la vitesse de rotation du moteur électrique d'entraînement avec l'appareil de commande et de régulation tout en mesurant le changement de température dans la culasse avec un thermomètre.





Matériel

1 moteur à air chaud	388 182
1 thermomètre, –50 °C à 120 °C	38819
1 moteur d'expériences	347 35
1 appareil de commande et de régulation .	347 36
1 tige, 25 cm	300 41

Supplément nécessaire:

Réservoir d'eau ouvert (au moins 10 l)	
1 pompe submersible 12 V	388 181
1 alimentation TBT	522 16
2 tuyaux en silicone, ∅ int. 7 × 1,5 mm, 1 m	667 194

ou

arrivée et écoulement de l'eau de refroidissement

Conseils de sécurité

Les éléments en verre du moteur à air chaud ne doivent pas être soumis à une trop grande sollicitation thermique.

- Respectez les instructions spécifiées dans le mode d'emploi du moteur à air chaud.
- Ne pas faire fonctionner le moteur à air chaud sans eau de refroidissement et s'assurer du bon fonctionnement du circuit d'eau de refroidissement.
- Veiller à ce que la température de l'eau de refroidissement alimentée ne dépasse pas 30 °C.

Montage

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 2.

Alimentation en eau de refroidissement:

– Verser au moins 10 l d'eau dans le récipient d'eau ouvert et attacher la pompe submersible.
– Brancher la sortie de la pompe submersible à l'arrivée de l'eau de refroidissement du moteur à air chaud et amener l'écoulement de l'eau de refroidissement dans le récipient d'eau.
– Brancher la pompe submersible à l'alimentation TBT.

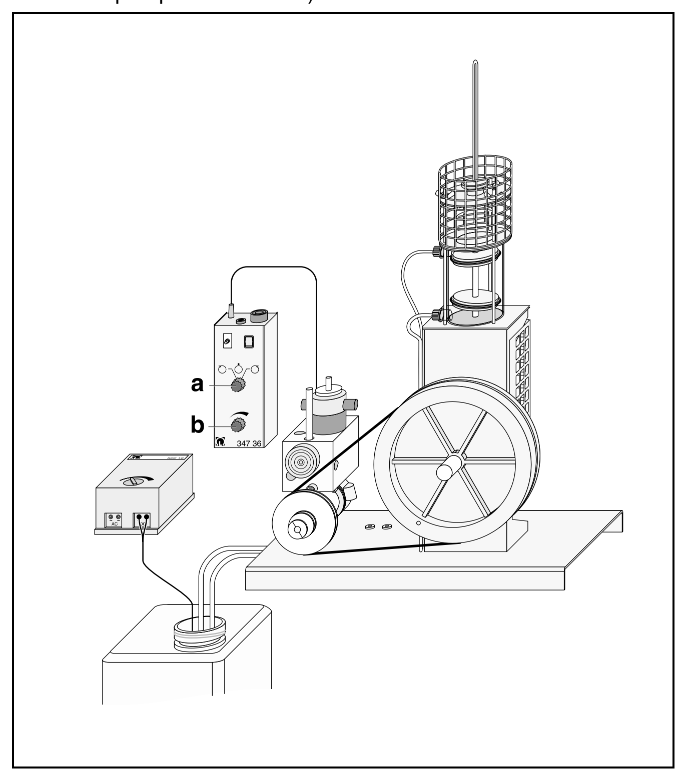
ou

– Brancher l'arrivée de l'eau de refroidissement du moteur à air chaud au robinet d'eau et amener l'écoulement de l'eau de refroidissement dans le déversoir.

Mesure de la température:

– Monter le couvercle pour la culasse avec bouchon fileté (voir mode d'emploi du moteur à air chaud) et dévisser le bouchon fileté.
– Insérer le thermomètre à travers le bouchon fileté et le joint.
– Amener le piston déplaceur au point mort haut en faisant tourner le volant moteur et vérifier s'il bute contre le thermomètre.
– Fixer le thermomètre en vissant le bouchon fileté.

Fig. 2 Montage expérimental pour le fonctionnement du moteur à air chaud en pompe à chaleur et en machine frigorifique (représenté ici: alimentation en eau de refroidissement par la pompe submersible).



N.B.:

Une surpression s’établit lors du fonctionnement du moteur à air chaud et le thermomètre risque alors d’être éjecté vers le haut.

– Faire tourner le volant moteur et vérifier l’étanchéité du moteur à air chaud; éventuellement utiliser le bouchon pour fermer le collier de serrage pour le capteur de pression.

Entraînement:

– Monter le moteur électrique et le brancher à l’appareil de commande et de régulation.
– Placer la courroie d’entraînement sur le volant moteur et le disque d’entraînement et la tendre en basculant le moteur électrique.

Réalisation

a) Fonctionnement du moteur à air chaud en pompe à chaleur:

– Enclencher l’alimentation en eau de refroidissement (pour ce faire, régler par exemple l’alimentation TBT pour la pompe submersible sur la position 2), vérifier le débit et attendre que l’eau revienne par le tuyau d’écoulement.
– Régler le commutateur du sens de rotation **(a)** sur la position centrale (arrêt), le bouton de réglage de la vitesse de rotation **(b)** sur la position médiane et mettre en marche l’appareil de commande et de régulation.
– Lancer le moteur à air chaud en marche à gauche (sens trigonométrique) avec le commutateur du sens de rotation.
– Mesurer la température dans la culasse du moteur à air chaud et observer la hausse de température.
– Eventuellement lentement augmenter la vitesse de rotation avec le commutateur de vitesse de rotation.
– Lorsque la valeur maximale est atteinte, remettre le commutateur du sens de rotation en position centrale.

b) Fonctionnement du moteur à air chaud en machine frigorifique:

– Lancer le moteur à air chaud en marche à droite (sens rétrograde) avec le commutateur du sens de rotation.
– Mesurer la température dans la culasse du moteur à air chaud et observer la baisse de température.
– Eventuellement lentement augmenter la vitesse de rotation avec le commutateur de vitesse de rotation.
– Lorsque la valeur minimale est atteinte, remettre le commutateur du sens de rotation en position centrale.

Exemple de mesure

a) Fonctionnement du moteur à air chaud en pompe à chaleur:

Température maximale au bout d’un fonctionnement prolongé: 110 °C.

b) Fonctionnement du moteur à air chaud en machine frigorifique:

Température minimale au bout d’un fonctionnement prolongé: –32 °C.

Exploitation

Suivant le sens de rotation, de la chaleur est cédée à la culasse du moteur à air chaud ou bien prélevée de celle-ci. La température dans la culasse change jusqu’à ce que la température d’équilibre soit atteinte, c.-à-d. jusqu’à ce que l’émission de chaleur dans l’environnement corresponde à l’absorption de chaleur de l’environnement.

Résultat

Si du travail mécanique est fourni au moteur à air chaud via son volant moteur, la culasse peut céder ou absorber de la chaleur, suivant le sens de rotation. Simultanément, de la chaleur est prélevée ou cédée à l’eau de refroidissement.

Le moteur à air chaud fonctionne en pompe à chaleur lorsque le volant moteur tourne dans le sens trigonométrique et en machine frigorifique lorsqu’il tourne dans le sens rétrograde.

Information supplémentaire

Le mode de fonctionnement du moteur à air chaud en pompe à chaleur ou en machine frigorifique peut être démontré de manière impressionnante en remplaçant le thermomètre dans la culasse par un tube à essai (inclus au matériel livré avec le moteur à air chaud) dans lequel on verse 0,5 à 1 cm^3 d’eau distillée. Au bout de quelques minutes de fonctionnement, l’eau se met à bouillir ou à geler.

La démonstration est particulièrement impressionnante si on mesure la température de l’eau avec une sonde de température et si on la relève en fonction du temps. On peut alors observer un retard à la congélation car l’eau est tout d’abord nettement refroidie en dessous de 0 °C et gèle ensuite subitement à 0 °C.